

University of Groningen

Natuurkunde, wetenschap of technologie?

Loosdrecht, Paul

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2006

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Loosdrecht, P. (2006). *Natuurkunde, wetenschap of technologie?* Rijksuniversiteit Groningen.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Natuurkunde, wetenschap of technologie?

Paul van Loosdrecht
Materials Science Center
University of Groningen

Mijnheer de Rector Magnificus, geachte leden van het college van bestuur, geachte collegae hoogleraren en andere leden van de universitaire gemeenschap, beste vrienden, familie en studenten, gewaardeerde toehoorders.

Nieuwsgierigheid

als kind heb ik, zoals zovele anderen, veel plezier beleefd aan het uit elkaar halen van radio's en andere voor mij mysterieuze toestellen. Het plezier zat 'm geloof ik in het slopen van de apparaten, maar toch vooral ook in het proberen te begrijpen waar de verschillende onderdelen voor dienden. Zo herinner ik mij nog mijn verbaasdheid over de functie van dat zwart-grijze staafje met koperdraad eromheen. Antennes waren toch eigenlijk uitschuifbare metalen stangetjes? Het weer in elkaar zetten van de radio boeide minder. Als het duidelijk was waarvoor dingen dienden dan was daarmee de kous af. De rest is technologie. Ik geloof niet dat kinderen tegenwoordig hun mp3 spelers, hun game-boys of hun mobieltjes nog uit elkaar slopen. Door de verregaande miniaturisatie zou dat overigens ook een stuk minder interessant zijn. Alles is zo'n beetje weggestopt in plastic doosjes. Leve de vooruitgang. Gelukkig zijn kinderen inventief genoeg om andere dingen te slopen om zo hun nieuwsgierigheid te kunnen bevredigen. Deze bijzondere eigenschap, de neiging tot ontdekken en begrijpen, is in elk kind aanwezig. Het maakt daarbij niet uit of er met auto's of met barbies gespeeld wordt. Pas later op de basisschool, als er structuur, rijen sommetjes en cito-toetsen komen wordt deze mooie eigenschap bij velen onderdrukt. Je moet aardig eigenwijs zijn om je onderzoekende geest, je ontvankelijkheid en ook een zekere mate van naïviteit te behouden.

De recente veranderingen in het middelbare-school onderwijs hebben ertoe geleid dat kinderen tegenwoordig veel zelfstandiger zijn, en in het bijzonder meer algemene kennis en algemene vaardigheden bezitten. Dit is natuurlijk lovenswaardig, en zeer nuttig voor sommige vervolgopleidingen en vermoedelijk ook voor een groot aantal vakopleidingen. Helaas voor de wetenschappelijke opleidingen is dit echter ten koste gegaan van zowel het

overbrengen van vakspecifieke kennis en vaardigheden, alsook van het ontwikkelen van het abstraherend vermogen. Het uitrekenen van een eenvoudige integraal blijkt een haast onoplosbaar probleem te zijn voor vele eerstejaars studenten, hetgeen niet verwonderlijk is daar ook de kennis van de betekenis van een integraal eveneens zeer beperkt is. Enthousiaste en inhoudelijk excellente middelbare-school leraren zouden het gebrek aan kennis en kunde kunnen minimaliseren, maar ook zij hebben het moeilijk. Ook zij hebben te weinig tijd voor een te breed takenpakket.

Dit kan nooit de bedoeling zijn geweest van de onderwijsvernieuwing. Het is jammer dat de enige zinnige doelstelling die aan de invoering van de tweefase structuur ten grondslag lag, namelijk het proberen om tot een betere aansluiting van havo en vwo op het hoger onderwijs te komen, niet gehaald is, in ieder geval niet wat de bètawetenschappen betreft. De politiek wil dit probleem niet erkennen. De nieuwe wet op de tweede fase die onlangs is aangenomen door de Eerste Kamer zal er toe leiden dat er nog minder tijd is voor vakinhoudelijke kennis en vaardigheden en tot het komen van een voldoende abstractieniveau.

Het lijkt erop dat men vindt dat de universiteiten het probleem zelf maar moeten oplossen. Natuurlijk kan dat, maar met dalende ingangskwaliteit en dalende budgetten lijkt mij dit echter een schier onmogelijke opgave. Op den duur gaat dit ook onvermijdelijk ten koste van de kwaliteit van onze universitaire opleidingen, en dat is jammer want nederland heeft wetenschappelijke opleidingen om werkelijk trots op zijn. Tot nu toe proberen veel universiteiten, waaronder gelukkig ook Groningen, om het niveau en de kwaliteit van onze opleidingen in stand te houden. Noodgedwongen bieden universiteiten bijspiijker cursussen aan, of laten zelfs een deel van het onderwijs vervallen zodat er tijd vrij komt om de tekortkomingen weg te kunnen werken. Een interessantere aanpak van de tekortkomingen is het aanbieden van bijvoorbeeld masterclasses en speciaal op middelbare-scholieren gerichte colleges, en het aanbieden van hulp bij het uitvoeren van het profielwerkstuk aan de scholieren in het middelbaar onderwijs. Dit biedt geïnteresseerde scholieren de mogelijkheid om een beetje onder het juk van de tweede fase uit te komen en hun nieuwsgierigheid, inventiviteit, en interesses werkelijk te kunnen ontplooiën. Hopelijk zullen de leerlingen dan ook beter voorbereid, beter gemotiveerd en zeker ook bewuster aan een universitaire studie kunnen beginnen.

De ontwikkelingen in het basis en het voortgezet onderwijs staan in schril contrast met de roep van onze huidige kennismaatschappij om meer

bèta-studenten op te leiden. Het is tot nu toe niet gelukt het aantal studenten in de bètawetenschappen te vergroten. Alleen de beste en meest gemotiveerde leerlingen kiezen nu een studie als natuurkunde. Als hoogleraar ben ik daar natuurlijk heel erg blij mee, maar ik geloof dat er veel meer leerlingen zijn die voldoende eigenwijs en onderzoekend zijn om aan een bèta studie te beginnen, en die met plezier af te ronden. Misschien dat het de aanstaande herstructurering van de tweede fase wel lukt om meer leerlingen te motiveren. De invoering van een keuzevakken over toegepaste wiskunde en het nieuwe bèta-vak natuur, leven en technologie bieden hoop, zowel voor de motivatie van studenten als voor de mogelijkheden van enthousiaste leraren. Helaas zal de herstructurering ook leiden tot een verdere achteruitgang in studielasturen, en dus in vakkennis en vaardigheden, van zowel de wiskunde, de natuurkunde en ook de scheikunde.

Wetenschap, techniek en maatschappij

De val van Rome vond volgens de boeken plaats anno domini 476. Het lijkt me sterk dat de Romeinen dit zelf wisten, maar dit is en blijft natuurlijk een van de belangrijkste gebeurtenissen in de afgelopen twee millennia. Er zijn vele oorzaken aan te geven voor het verval en de uiteindelijke ondergang van het Romeinse Rijk, en voor het ontstaan van de daaropvolgende donkere periode. Zonder enige pretentie van wetenschappelijkheid wil ik kort op één van de factoren ingaan: De wetenschap. Of beter, het gebrek aan wetenschap. De opkomst en bloei van het Romeinse Rijk is zeker te wijten aan de expansiedrift van Rome. De aanhoudende vraag naar meer en betere wapens, alsmede de moeite die het gekost moet hebben om de expansie- en bezettingslegers op de been te houden zijn een enorme stimulans geweest voor zowel de Romeinse economie als ook voor de Romeinse technologie. Een mooi voorbeeld van dit laatste is de ontwikkeling van het aquaduct voorzien van boogconstructies om Rome van vers water te voorzien. Een ander voorbeeld is te vinden in de vele verbeteringen van de van oorsprong griekse katapult. Wetenschap en filosofie werden echter door de Romeinen nauwelijks van belang geacht.

Toen in 30 voor Christus Cleopatra stierf, de laatste egyptische keizerin, hadden de Romeinen zo'n beetje het hele Midden Oosten en nagenoeg heel Europa onder controle. De Romeinen erkenden de Grieken als hun meerderen op vele gebieden: veel van de romeinse kunst, poëzie, drama en geschiedschrijving van het begin van onze jaartelling is in feite hellinistisch van aard. In hun ijver om de griekse cultuur over te nemen hebben de Romeinen

echter een cruciale fout gemaakt door niet ook de wetenschap, de wiskunde en de filosofie te plagieren. Toen zo'n beetje alles wat er te veroveren was veroverd was, en daarmee de belangrijkste drijfveer van economische en technologische ontwikkeling weggevallen was, hadden wetenschap en filosofie zeker een nieuwe impuls aan de ontwikkeling van het Romeinse Rijk kunnen geven, zoals het dat ook gedaan had aan het Hellenistische Rijk, en later aan het Byzantijnse Rijk. Het belang van de uitvinding van de semaphore – een soort primitieve morse code om met behulp van fakkels berichten te coderen en over te zenden – door de naar Rome gedeporteerde Griek Polybios werd over het hoofd gezien. De stoommachine, uitgevonden door Hero, een hellenistische egyptenaar in het door Rome bezette Alexandria, werd niet op zijn waarde geschat, en slechts als interessant speeltje gezien. Ook Heron's bespiegelingen over licht, onder andere over de eindigheid van de lichtsnelheid, en de hypothese dat licht langs het kortste geometrische pad reist werden niet op hun waarde geschat. Deze laatste hypothese werd pas in de 17e eeuw vervangen door het Fermat principe dat stelt dat licht die weg kiest die het snelst afgelegd kan worden.

Terwijl het Byzantijnse Rijk, met zijn post-hellenistische wetenschap en filosofie, floreerde, verviel Europa tot een door religie, bijgeloof en feodale verhoudingen gedomineerde periode, in het engels toepasselijk de 'dark ages' genoemd. Zowel technologische als wetenschappelijke ontwikkelingen stonden in Europa tijdens deze periode nagenoeg stil. Het einde van de Middeleeuwen werd ingeluid door het begin van de kruistochten. Deze oorspronkelijk 'wag the dog' strategie van paus Urbanus de tweede, officieel begonnen om het Byzantijnse Rijk te helpen, maar zeker ook zeer welkom om de bevolking af te leiden van interne problemen leidde tot een hernieuwde kennismaking met de verworvenheden van wetenschap, filosofie en technologie vanuit de moslim wereld. Zijde, het kompas, en helaas voor vele kruisridders het buskruit werden bekend in Europa, en leiden tot een hernieuwde belangstelling voor de oude grieks/romeinse cultuur en de wetenschap, met als welbekend gevolg de Renaissance en later ook de opkomst van Noord Europa, de kolonisatie van de wereld, en de industriële revolutie.

Voorgaande illustreert de intieme samenhang tussen wetenschap, technologie en maatschappij. Enerzijds is technologie nodig voor vooruitgang in de wetenschap, anderzijds is wetenschap broodnodig om technologische ontwikkelingen te stimuleren en onze kennis te vermeerderen. Het is een illusie te denken dat technologie de maatschappij op lange termijn kan ondersteunen zonder fundamentele, door nieuwsgierigheid gedreven wetenschap. Een maatschappij die enkel is gebaseerd op technologie zal in eerste instantie floreren door het uitmelken van de bestaande wetenschappelijke kennis en het

verder optimaliseren van de technologie. Vanzelfsprekend zal de ontwikkeling van nieuwe technologieën gebaseerd op tot nog toe onbekende principes volledig stagneren. De bestaande kennis zelf zal uiteraard op volgende generaties overgebracht worden, maar hierbij moet wel bedacht worden dat dit geen ideaal proces kan zijn. Bij iedere overdracht zal er een klein beetje verloren gaan, zodat er in feite sprake is van een kennis achteruitgang, zoals die ook in de Middeleeuwen heeft plaatsgevonden. Een paar generaties is dan genoeg om het ontwerpen van een nieuwe nog snellere computer welhaast onmogelijk te maken. Vermoedelijk is één generatie al voldoende om de wet van Moore om zeep te helpen.

Femtohistorie

Ik sta hier voor u omdat ik ook tegenwoordig nog graag dingen wil begrijpen. Niet meer de radio's van toen. Nu zijn het functionele materialen en hun eigenschappen. Functionele materialen zijn materialen die een trucje kunnen uitvoeren dat nuttig is in een of andere al dan niet technologische toepassing. De eigenschappen van deze materialen zijn afhankelijk van de omgeving of de voorgeschiedenis. Een sprekend voorbeeld hiervan zijn de zogenaamde gigantische magnetoweerstandsmaterialen die tegenwoordig in de leeskop van een harde schijf worden toegepast. De elektrische weerstand van deze materialen hangt sterk af van het magnetisch veld van een informatie bit op de harde schijf, en maken het dus mogelijk om de toestand van het desbetreffende bit uit te lezen.

Een van de aspecten van materialen waar ik in het bijzonder in geïnteresseerd ben is het gedrag op een ultrakorte tijdschaal. De nadruk ligt hierbij op fundamenteel onderzoek naar nieuwe toestanden van materie en de ultrasnelle dynamica van overgangen tussen verschillende toestanden van materialen.

“Het verleden vloeit via het heden naar de toekomst”, zoals de schrijver Terry Pratchett eens opmerkte. Je kunt je natuurlijk afvragen: wat is het heden? Is dat een wiskundig punt in de tijdruimte? Heeft het een uitgestrektheid? Kunnen we het te pakken krijgen? Is er misschien helemaal geen heden, is er misschien alleen maar een verleden en een toekomst? Met mijn groep “Optische Fysica van de Gecondenseerde Materie” probeer ik het heden vast te leggen, maar tot mijn spijt moet ik u bekennen dat het heden ons steeds weer ontglipt. Altijd zijn we net iets te laat. Zodra we het te pakken denken te hebben is het alweer naar het verleden vergleden. Desalniettemin komen we er

wel aardig dichtbij. De studie van het gebied nèt voor heden zou je femtohistorie kunnen noemen. Het is de studie die zich bezig houdt met de invloed van gebeurtenissen in het nabije verleden op de directe toekomst. Het gaat hierbij niet om het verleden van pakweg 1.3 gigaseconden geleden, waarvan de invloed nu nog merkbaar is in de vorm van mijn aanwezigheid hier voor u. Nee, het gaat om een tijdschaal die ruwweg 24 grootte ordes korter is! De zogenaamde femtoseconde tijdschaal. In 3 femtoseconden legt licht bijvoorbeeld slechts 1 micrometer af. Het is de tijdschaal die een miljoen keer sneller is dan de schakelsnelheden in de huidige microprocessoren in de computers bij u thuis. Deze tijdschaal is fundamenteel anders, in de zin dat het thermodynamisch evenwicht grondig verstoord kan zijn. Het is bijvoorbeeld erg moeilijk een temperatuur te definiëren, en zo je dit al zou kunnen, dan hebben de atomen, de elektronen, de spins, en andere deeltjes ieder een eigen temperatuur. Daarbij komt nog dat deze ook nog eens aardig van elkaar kunnen verschillen. Ook is de toestand waarin de materie zich bevindt vaak sterk afhankelijk van het tijdstip van waarneming, het ene moment kan een materiaal bijvoorbeeld blauw zijn, het volgende moment misschien wel rood. Studie van de femtohistorie is dus geen statische wetenschap, maar is uiterst dynamisch. De meeste manieren om deze snelle tijdschalen te bestuderen zijn gebaseerd op het gebruik van “snelle” lasers die ultrakorte lichtflitsen maken. Het principe is simpel. De gebeurtenis in het verleden is een zeer korte lichtflits met een duur van 10 tot 100 femtoseconden, waarna even later, wederom met een korte lichtflits, gekeken wordt wat de invloed hiervan op het heden is. Het kan hierbij bijvoorbeeld gaan om een isolerend materiaal waarin met behulp van een korte lichtpuls een verzameling elektronen vanuit een niet geleidende in een geleidende toestand gebracht wordt, zodat het materiaal zich gedurende een korte tijd als een goede stroom geleider gedraagt, met andere woorden om een optisch geïnduceerde isolator-metaal overgang, zeg maar een snelle schakelaar. Het kan ook gaan om een verzameling atomen of elektronen die als reactie op de lichtpuls gezamenlijk gaan dansen, een zogenaamde coherente excitatie, of om elektronen die besluiten dat het voordeliger is om samen met hun achtergelaten gat een paar te vormen, waarbij tenslotte de paren besluiten samen te gaan dansen. Dit laatste voorbeeld, ook wel bekend als Bose-Einstein condensatie van excitonen, is in het wat minder nabije verleden uitgebreid bestudeerd, maar, ondanks een grote hoeveelheid claims, nog nooit waargenomen. Met nieuwe technieken, onder andere ontwikkeld in mijn groep in Groningen, is er echter nu weer vooruitgang geboekt en wie weet zien we nog eens een excitonen condensaat voorbijkomen in de nabije toekomst.

De fundamentele wetenschap van ultrasnelle processen in materialen leunt

zwaar op recente verworvenheden in de laser technologie. Het onderzoek zelf is uiterst exploratief en fundamenteel, maar zou op de lange termijn kunnen leiden tot het vinden van nieuwe methoden om bijvoorbeeld de elektrische geleiding, de magnetisatie, of de doorlaatbaarheid voor licht ultrasnel aan en uit te kunnen schakelen.

Het is op zich wel interessant om daarover na te denken. Stel dat we een magnetische bit op een harde schijf in 1000 femtoseconden, in een picoseconde dus, zouden kunnen schakelen, dat wil zeggen meer dan 1000 keer sneller dan nu het geval is. Om dan de informatie ook inderdaad met die snelheid op een harde schijf te kunnen schrijven zou deze schijf wel erg hard rond moeten draaien. Een kleine berekening laat zien dat in schijven die gebruikmaken van de recent ontwikkelde verticale opslagmethode de bits met zo'n 72 keer de geluidssnelheid, met mach 72, voorbij moeten komen; de rotatie snelheid van een opslagschijf met een diameter van 5 cm zal meer dan 1500 omwentelingen per seconde moeten bedragen. De genoemde snelheid benadert de lichtsnelheid bij lange na niet, en de omwentelingssnelheid is mechanisch zeker haalbaar. Tenslotte draaien gascentrifuges voor de verrijking van uranium ook met deze rotatiesnelheden. Commercieel is het echter geen haalbare kaart. De kinetische energie in de schijf zal zo hoog zijn dat bij defecten gevaar voor explosie bestaat, of dan toch tenminste gevaar voor met dodelijke snelheid rondvliegende schijfjes. De mechanische technologie zal ook zo duur worden dat de schijven onverkoopbaar worden. Nee, als wij inderdaad de schrijf- en leesnelheid van opslagmedia substantieel willen vergroten, zal er gezocht moeten worden naar nieuwe opslag principes die geen gebruik meer maken van bewegende delen. In de meer directe toekomst zijn relatief nieuwe zogenaamde flietsmedia, onder andere te vinden in digitale camera's en in geheugenstaafjes de gedoodverfde opvolgers van de harde schijf. De schrijf en wis processen in deze media zullen nog verbeterd moeten worden en hun prijs zal nog substantieel moeten dalen, maar zonder twijfel zal dit de komende 20 jaar of zo het medium voor gegevensopslag zijn. De magnetische harde schijf, maar ook de CD en de DVD lijken hun langste tijd alweer gehad te hebben, en kunnen binnenkort bijgezet worden in het museum van onze technologie.

Holistische materialen

Naast mijn interesse voor zeer snelle processen in de gecondenseerde materie ben ik ook geïntereiseerd in de zogenoemde gecorreleerde materialen, dat wil zeggen in materialen waarvoor één-deeltjes beschrijvingen volstrekt

ontoereikend zijn. Natuurkundigen gebruiken één-deeltjes beschrijvingen om het gedrag van alle elektronen in een materiaal op een eenvoudige manier te kunnen beschrijven. In plaats van het gelijktijdig beschrijven van alle elektronen met elkaar en met de rest van het materiaal wordt er een soort effectief elektron ingevoerd. Voor het beschrijven van veel van de eigenschappen van het materiaal is het dan voldoende om de eigenschappen van dit effectieve deeltje te kennen. Dit is een uiterst succesvolle aanpak gebleken, en het is hiermee mogelijk om bijvoorbeeld de werking van een transistor te beschrijven. Er zijn echter ook een groot aantal materialen en eigenschappen van materialen die niet deze manier begrepen kunnen worden. Misschien wel het bekendste voorbeeld zijn de supergeleidende materialen waarin elektrische stromen kunnen lopen zonder enige weerstand, en dus zonder enig energie verlies. Misschien dat in de toekomst supergeleidende materialen gebruikt kunnen worden in de energieopslag en distributie. Je zou bijvoorbeeld de Sahara vol kunnen zetten met zonnepanelen voor de energie opwekking, supergeleidende spoelen kunnen gebruiken voor lokale energie opslag, en supergeleidende kabels kunnen leggen voor de distributie van de elektriciteit over de aardbol. Dit klinkt misschien futuristisch, maar de technologische en economische mogelijkheden om dit te realiseren liggen niet eens zo ver van ons vandaan. Misschien zouden we ook wel een supersnelle magneet zweeftrein, gebaseerd op supergeleidende spoelen, kunnen bouwen die Groningen verbindt met de rest van de wereld. Als er lang genoeg verder gedebatteerd wordt over deze broodnodige verbinding tussen Groningen en de randstad komt het er misschien nog wel eens ooit van. Hoewel ik in dit geval liever heb dat men er nu een aanlegt, gebaseerd op conventionele technologie.

Gecorreleerde materialen vertonen vaak verrassende eigenschappen, zoals de zojuist genoemde supergeleiding en de eerder genoemde gigantische magnetoweerstand die gebruikt wordt in magnetische leeskoppen. De meeste van de eigenschappen en verschijnselen zijn echter vooral van wetenschappelijk belang. Zij dienen als test of als randvoorwaarde voor nieuwe theorieën die dit soort materialen beter beschrijven dan de één-deeltjes theorieën of varianten daarop. Voor veel materialen en fenomenen zijn er relatief goede theorieën om ze te begrijpen en te kunnen beschrijven. Deze theorieën maken wederom veelvuldig gebruik van het reductionistische één-deeltjes beeld door het invoeren van een dierenrijk aan nieuwe deeltjes met exotische namen als Cooper paren, skyrmionen, trionen, anyonen, phasonen, amplitodonen, magnonen, etcetera. Deze nieuwe deeltjes zijn eigenlijk toestanden in de materie die gevormd worden door méér dan één van de oorspronkelijke effectieve deeltjes. Ondanks hun star-trek achtige namen, zijn deze deeltjes toch realiteit in de zin dat ze waarneembaar zijn in experimenten. Of misschien

preciezer gesteld: dat het beschrijven van materialen in termen van deze deeltjes leidt tot een consistente interpretatie van experimentele waarnemingen en tot zinnige en verifieerbare voorspellingen over het waarneembare gedrag van materialen in variërende omstandigheden. De toekomst zal moeten uitwijzen of deze in essentie toch atomaire aanpak voldoende zal zijn voor ons begrip van de wereld van de gecorreleerde materialen.

Tot slot

Aan het eind van deze oratie wil ik toch nog even terugkomen op de vragende titel en mijn antwoord hierop. Ik hoop dat ik u in deze korte tijd heb kunnen laten zien dat er een intieme relatie is tussen wetenschap en technologie. Natuurkunde, en in het bijzonder de experimentele natuurkunde is een fascinerende wetenschap die veelvuldig gebruik maakt van technologie, die door nieuwe vragen te stellen leidt tot de ontwikkeling van nieuwe technologieën zoals bijvoorbeeld het wereld wijde web, en die soms nieuwe principes ontdekt waarop nieuwe technologieën zoals de transistor of de gigantische magnetoweerstand leeskoppen gebaseerd kunnen worden. Zonder wetenschappen als de natuurkunde zal de ontwikkeling van technologie op den duur stagneren. Het is voor onze kennismaatschappij dus uitermate belangrijk dat de infrastructurele voorzieningen, zoals het integrale onderwijs systeem en de universiteitslaboratoria waar nieuwsgierigheidsgedreven fundamentele onderzoek gedaan wordt voldoende te ondersteunen. Het is niet voldoende om met lapmiddelen het onderwijs op peil te houden, en met gelegenheds-subsidies het onderzoek. Het is zeer verwonderlijk dat in een maatschappij waar kennis centraal staat er een tekort aan bètastudenten lijkt te zijn en bètafaculteiten moeten reorganiseren om het hoofd boven te kunnen houden.

Ik dank u allen voor uw aandacht.

Ik heb gezegd!